

## Исследования состояния воздушной среды бассейнов

*В.М. Уляшева, Ю. В. Иванова, А.Ю. Мартьянова*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

**Аннотация:** Представлены результаты исследований инженерных решений по вентиляции плавательных бассейнов на основе математического моделирования с учетом реальных тепловых нагрузок и влаговыделений. Проведен анализ вариантов воздухораспределения в помещениях с бассейнами различного назначения – общественного бассейна, СПА-комплекса и спортивного бассейна с трибунами для зрителей. На основании полученных результатов в виде полей распределения параметров воздушной среды, выявлены необходимые изменения в схемах организации воздухообмена. При отклонении параметров от нормируемых значений разработаны рекомендации по улучшению состояния микроклимата. Данные распределения температуры позволяют сделать вывод о соответствии температуры воздуха вблизи поверхностей наружных ограждений требованиям, обеспечивающим их сохранность. Сделаны выводы о соответствии полученных результатов требуемым параметрам микроклимата для помещений с повышенной относительной влажностью воздуха.

**Ключевые слова:** бассейн, вентиляция, теплота, влага, воздухораспределение, микроклимат, воздушная среда, численное моделирование.

Основной задачей систем кондиционирования воздуха, вентиляции и осушения воздуха в помещениях крытых плавательных бассейнов является обеспечение санитарно-гигиенических требований [1]. Наибольшую проблему в данных условиях составляет повышенная относительная влажность внутреннего воздуха. Отсутствие должного регулирования относительной влажности может приводить к дискомфорту, проблемам, связанным с коррозией, разрушением элементов ограждающих конструкций, появлением плесени и др. Для предотвращения нежелательной конденсации водяного пара и для обеспечения требуемых параметров микроклимата необходимо поддерживать относительно высокие температуры воды и воздуха в помещении [1]. При этом необходимо учитывать общие требования к микроклимату в связи с наличием в бассейнах трибун для зрителей.

Исследованию влияния параметров микроклимата посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов. В [2] выполнен анализ влияния

влажностного режима на долговечность строительных конструкций и рассмотрены инженерные решения для обеспечения их сохранности. Работа [3] посвящена анализу нормативных требований ASHRAE к микроклимату бассейнов. В работе [4] предложены инженерные решения для осушения влажного воздуха в бассейнах. Результаты исследований состояния микроклимата в натуральных условиях бассейнов обобщены в [5], с использованием численного моделирования – в работах [6, 7]. Однако, в большинстве работ рассмотрены особенности теплового и воздушного режимов частных бассейнов.

Согласно СП 310.1325800.2017 "Бассейны для плавания. Правила проектирования" в помещениях общественных зданий с повышенной влажностью внутреннего воздуха, к которым относятся плавательные бассейны, должна быть обеспечена подача наружного воздуха не менее 80 м<sup>3</sup>/ч на одного занимающегося и не менее 20 м<sup>3</sup>/ч на зрителя (СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха).

В зависимости от назначения бассейнов (спортивные, детские, лечебные, частные, джакузи и др.), нормами установлены следующие параметры микроклимата [1]:

- температура воды от 15 до 39<sup>0</sup>С; температура воздуха в помещениях с ваннами от 18 до 35<sup>0</sup>С (на 1 – 2<sup>0</sup>С выше температуры воды); температура поверхностей от 22 до 50<sup>0</sup>С;

- влагосодержание воздуха в помещениях плавательного бассейна не должно превышать 14 г/к;

- относительная влажность воздуха должна поддерживаться в пределах 40 – 65%;

- скорость движения воздуха менее 0,15 м/с.

Организация воздухообмена в помещениях плавательных бассейнов и аквапарков выполняется с учетом объемно-планировочных решений и

---

конструктивных особенностей здания. При организации воздухообмена возможно применение схемы «снизу-вверх» и «сверху-вверх».

При схеме организации воздухообмена «снизу-вверх» наиболее целесообразно совмещение приточной вентиляции с воздушным отоплением. В этом случае приточные отверстия проектируют на уровне пола вдоль наружных ограждающих конструкций. Таким образом, формируются приточные струи с настилением на наиболее холодные поверхности во избежание выпадения конденсата. Особенно важным является использование подобной схемы подачи воздуха в условиях Северной климатической зоны. Также необходимым условием является обеспечение отрицательного дисбаланса по отношению к смежным помещениям. Превышение вытяжки над притоком рекомендуется обеспечивать в пределах не более 10-15%. В противном случае могут возникать воздушные течения, вызывающие появление «сквозняка», способствующие перетеканию воздуха из раздевалок.

Для предотвращения конденсации влаги на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, может быть использована подача приточного воздуха сверху направленными струями вдоль потолков с охватом максимальной площади. При этом допускается использование рециркуляционного воздуха в постоянном или периодическом режиме.

В работе [8] представлены результаты натурных измерений параметров микроклимата крытого общественного бассейна с большой чашей (габариты 25x5,6м) с водопадом, гидромассажем, встроенным джакузи (габариты 5,1x4,9м) и малой чашей (габариты 25x4,9м), расположенного в торгово-развлекательном центре в г. Улан-Уде. В помещении бассейна предусмотрена приточно-вытяжная вентиляция, Схема организации воздухообмена «снизу-сверху-вверх»: приточный воздух подается снизу вдоль окон напольными щелевыми диффузорами для бассейнов, сверху

---

коническими струями с помощью потолочных диффузоров, удаление осуществляется из верхней зоны над поверхностью воды регулируемые решетки. Расчетное количество посетителей – 36 человек, места для зрителей не предусмотрены.

На основании данных измерений при участии авторов выполнено численное моделирование с использованием программного комплекса «STAR – CCM+», который широко используется для исследований воздушного режима различных помещений [9, 10]. Для анализа теплового, влажностного и воздушного режимов в рассматриваемом бассейне в программном комплексе SolidWorks созданы 3D-геометрия объекта и гексагональная расчетная сетка из более чем 1 миллиона элементов, при этом в местах приточных и вытяжных отверстий предусмотрено измельчение сетки. Основные результаты численного эксперимента представлены на рисунках 1 – 4.

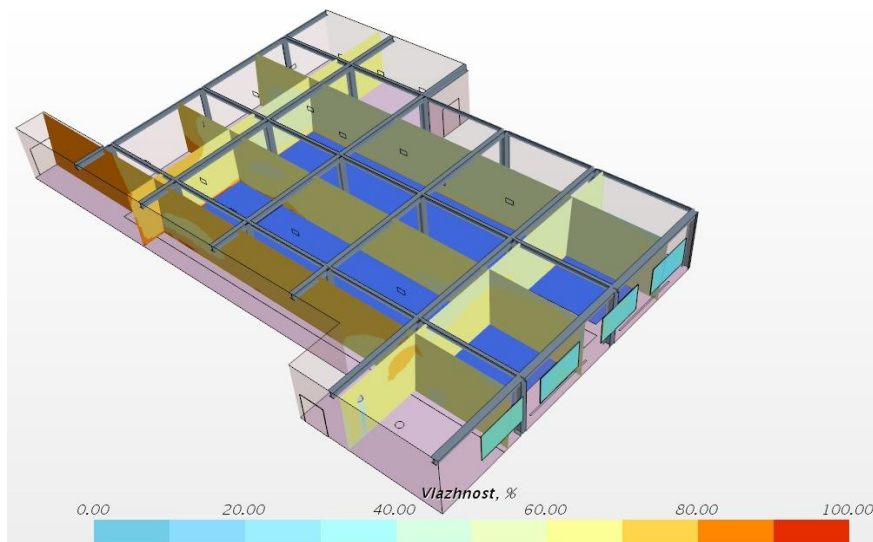


Рис. 1. – Поле распределения относительной влажности

Анализ распределения относительной влажности показывает, что на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций отсутствует возможность выпадения конденсата. Что касается зоны нахождения людей, то относительная влажность практически соответствует нормируемой.

Температура воздуха (рис.2) выше температуры воды на 1-2 °С в полном соответствии с требованиями [1].

Наибольшее внимание уделено оценке распределения скорости движения воздуха, поскольку, как в большинстве вентилируемых помещений, основной является проблема обеспечения нормируемой подвижности воздуха в рабочей (обслуживаемой) зоне. Результаты численного моделирования в виде полей распределения скорости в характерных сечениях (рис.3, 4) показывают, что принятые способы подачи воздуха способствуют формированию повышенной подвижности в зоне нахождения людей, в отдельных точках – выше 0,5 м/с. На основании натуральных измерений и численного эксперимента разработаны рекомендации, включающие этапы регулирования распределения воздуха систем вентиляции и последующей проверки параметров микроклимата в натуральных условиях.

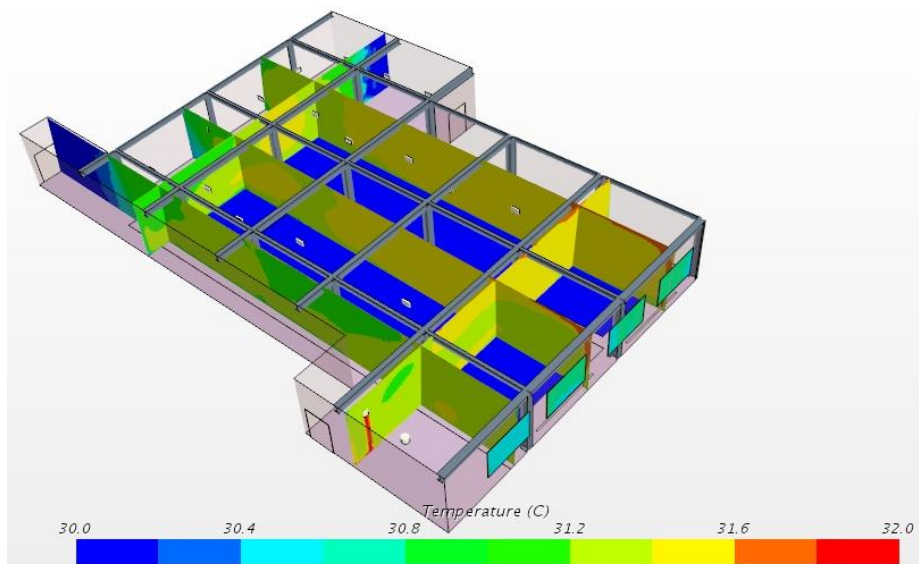


Рис. 2. – Поле распределения температур

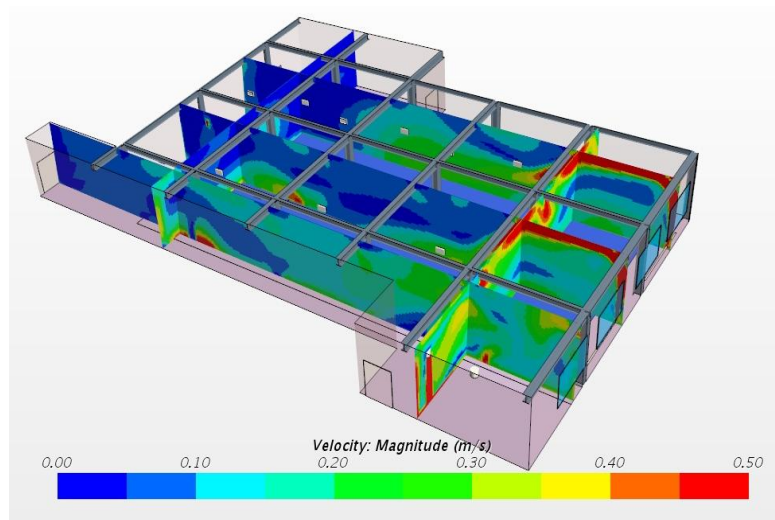


Рис. 3. – Поле распределения скорости движения воздуха по высоте помещения

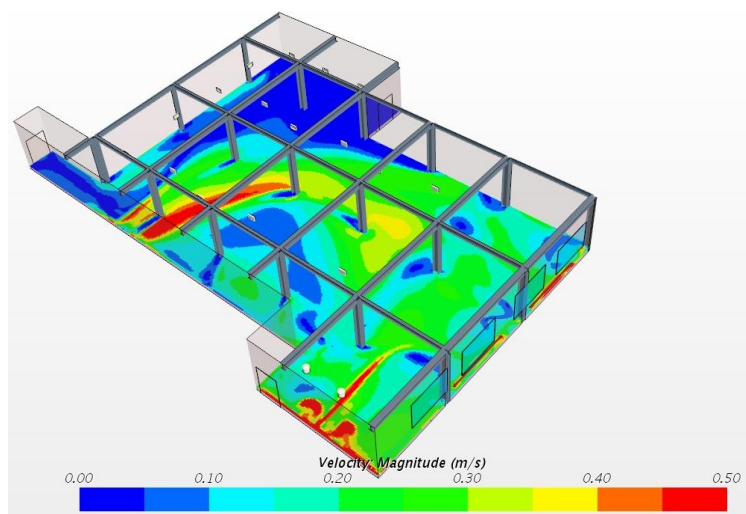


Рис. 4. – Поле распределения скоростей на уровне 0,200 м от пола в зоне нахождения купающихся

Проектные решения зданий различного назначения при наличии бассейнов отличаются большим разнообразием. Так, в здании СПА-комплекса, размещены взрослый и детский бассейны, джакузи и зона отдыха. В бассейне запроектирована система отопления и перемешивающая вентиляция с подачей приточного воздуха из верхней зоны через потолочные

диффузоры, расположенные над зоной отдыха и ванной бассейна (рис.5). Вытяжные устройства сосредоточены в зоне бассейнов.

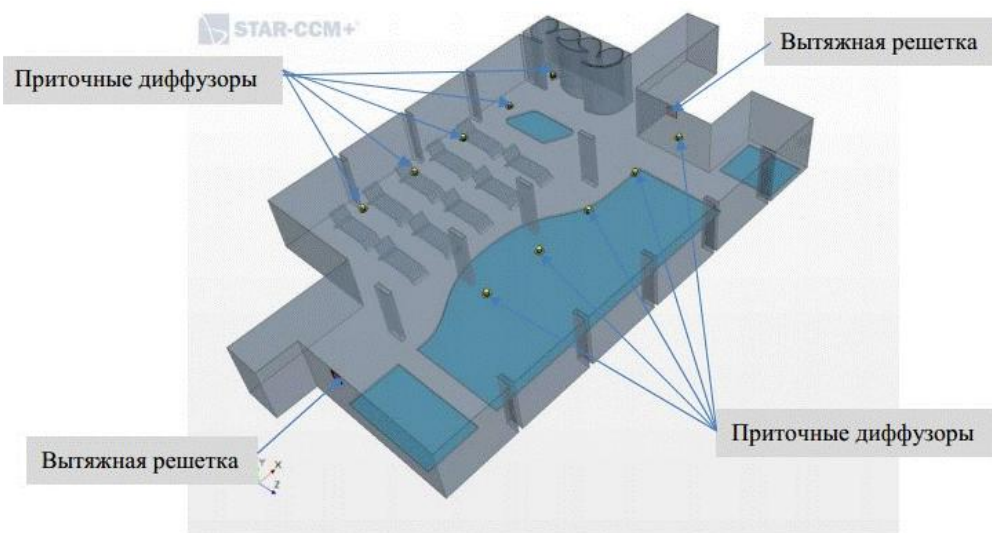


Рис. 5. – Схема организации воздухообмена в СПА-комплексе

По аналогии с рассмотренным выше общественным бассейном выполнено численное моделирование теплового, влажностного и воздушного режимов. В процессе расчета рассмотрен ряд вариантов. Наиболее приемлемые результаты моделирования представлены на рисунках 6 и 7.

Результаты расчета показывают, что параметры воздуха обслуживаемой зоны бассейна СПА-комплекса находятся в пределах нормируемых значений: средняя температура воздуха составляет  $29^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность находится в пределах  $\varphi = 47 - 65\%$ , средняя скорость движения воздуха –  $0,2 \text{ м/с}$ . Линии тока дают представление о том, что в рассматриваемом помещении приточные струи, ассимилируя избытки теплоты и влаги, способствуют удалению вредных веществ из помещения.

Особый интерес с точки зрения обеспечения нормируемых параметров воздушной среды представляют общественные плавательные бассейны с трибунами для зрителей.

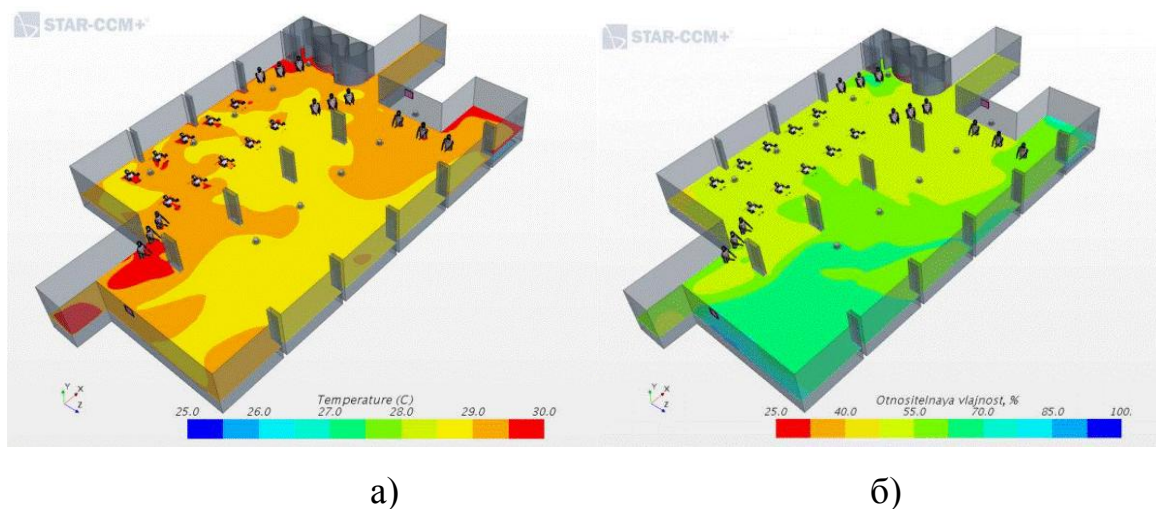


Рис. 6. – Распределение температуры (а) и относительной влажности (б) в сечении на уровне обслуживаемой зоны

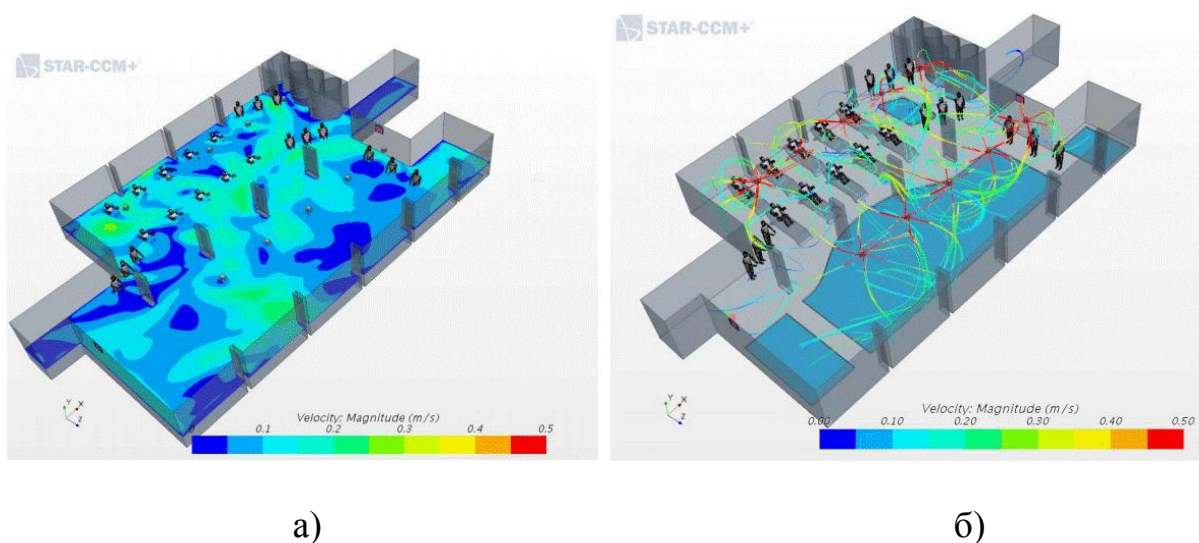


Рис. 7. – Распределение скорости движения воздуха в сечении на уровне обслуживаемой зоны (а) и линии тока (б)

Рассмотрен спортивный бассейн габаритами 24,9х7,5м, размещенный в фитнес-центре. Использована схема организации воздухообмена «сверху – вверх», для подачи воздуха использованы потолочные диффузоры 4АПН



фирмы «Арктос» размером 1050x1050, площадью сечения 0,81 м<sup>2</sup>. Диффузоры установлены в плоскости потолка на высоте 6.000 м. Вытяжной воздух удаляется с помощью вытяжных решеток 1АПН, установленных под потолком за зрительской трибуной.

В программном комплексе «STAR – ССМ+» выполнено численное моделирование, получены поля распределения температуры, скорости движения воздуха, а также влагосодержания и углекислого газа на уровне обслуживаемой зоны.

Подача воздуха в верхнюю зону обеспечивает обтекание потолка помещения и стен, исключая, тем самым, выпадение конденсата на поверхностях. Учитывая наличие на этом же этаже других помещений, в помещении бассейна поддерживается разрежение, т.е. расход удаляемого воздуха на 10% больше приточного.

Результаты численного эксперимента представлены на рисунках 8-11.

Температура воздуха в помещении соответствует принятым в начале расчета 26-27°С. Температура в помещении, как и требуется, выше температуры воды в бассейне, что позволяет значительно снизить испарение влаги с поверхности воды.

Температура ограждающих конструкций выше температуры точки росы, следовательно, конденсат выпадать не будет. Влагосодержание в помещении находится в рекомендуемых пределах 11,3-11,5 г/кг, однако несколько ниже, чем по результатам инженерного расчета. Относительная влажность 50%, также находится в допустимых пределах. Среднее значение углекислого газа на вытяжке 450 ppm отличается от расчетного значения 518 ppm, но находится в допустимых пределах.

Принятая в окончательном варианте высота установки воздухораспределителей и расход приточного воздуха позволили достичь допустимых значений скорости воздуха в обслуживаемой зоне.

---

Расположение вытяжных решеток в верхней зоне не оказывает негативных последствий на распределение воздуха по объему помещения.

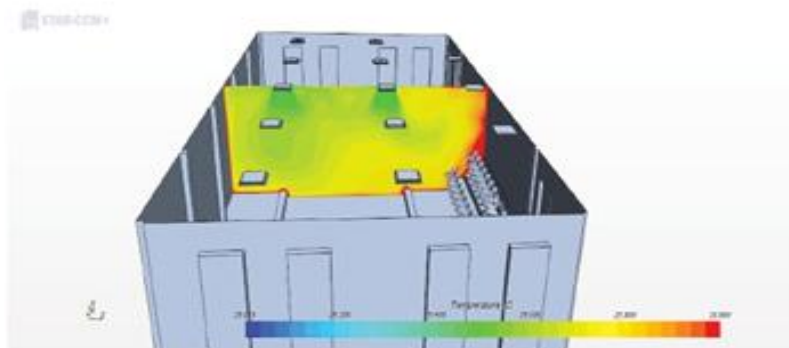


Рис. 8. – Поле температур в вертикальном поперечном сечении

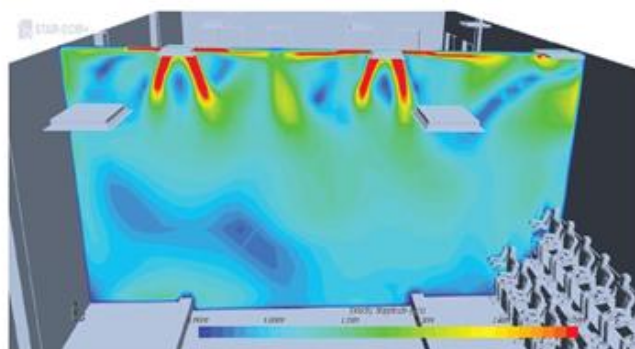


Рис. 9. – Поле скоростей в вертикальном поперечном сечении

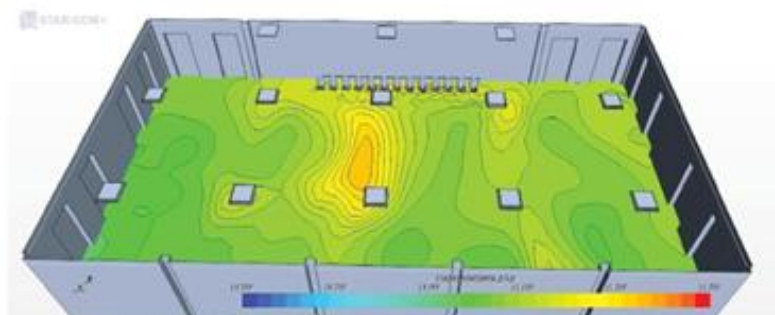


Рис. 10. – Поле влагосодержания в сечении на уровне обслуживаемой  
зоны

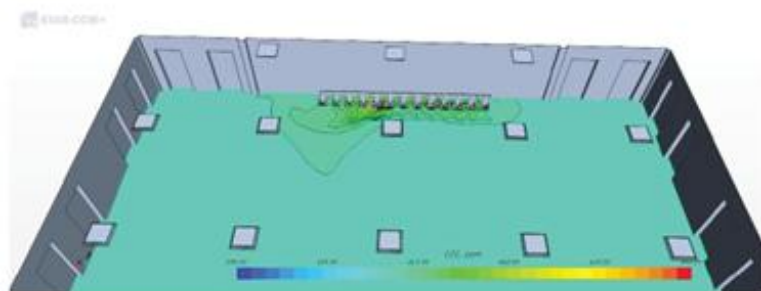


Рис. 11. – Поле углекислого газа в сечении на уровне рабочей зоны

### Заключение

В результате проведенных исследований на основе математического моделирования было выявлено, что в помещениях бассейнов различного назначения в целом соблюдается температурный и влажностный режимы – температура и относительная влажность воздуха находятся в пределах допустимых значений, однако подвижность воздуха (от 0,2 до 0,5 м/с) превышает допустимые параметры микроклимата. Также, существует риск конденсации влаги на внутренних поверхностях помещений. При возникновении условий для конденсации необходимо включать самостоятельную систему обдува потолков либо производить их обдув теплым воздухом с помощью воздухораспределителей с изменяемой формой струи. Такой обдув потолков рекомендуется проводить также для их защиты в нерабочее время из-за влаговыделений с зеркала воды бассейна.

Для решения задач обеспечения необходимых параметров микроклимата в бассейнах необходим комплексный подход в проектировании систем кондиционирования, вентиляции и осушения воздуха в помещениях, например, совместное применение воздушного отопления с рекуператором или использование специализированных агрегатов, которые обеспечивают круглосуточное управление внутренним климатом в любое время года. При этом рекомендуется поддерживать малую подвижность

воздуха в обслуживаемой зоне (до 0,2 м/с) и не допускать повышения температуры воздуха по высоте помещения во избежание потерь теплоты в верхней зоне здания, предотвращения конденсации влаги и коррозии несущих элементов кровли.

### Литература

1. Вишневский Е.П., Табунщиков Ю.А., Тарабанов М.Г., Салин М.Ю., Жданов И.А. Р НП "АВОК" "Обеспечение микроклимата и энергосбережение в крытых плавательных бассейнах. Нормы проектирования" от 29 апреля 2012 г. № 7.5-2012 // НП "АВОК", 2012. 16 с.
2. Смирнов В.В. Исследование влияния параметров микроклимата на долговечность несущих конструкций помещения бассейна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. Москва, 2009. 17 с.
3. Lochner G, Wasner L. Требования к вентиляции крытых бассейнов // АВОК. 2018. №4. С. 20-27.
4. Ильина Т.Н., Глебова О.В., Небыльцова И.В. Инновационные способы микроклиматической поддержки в помещениях крытых бассейнов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №8. С. 113-116.
5. Ruud M. Pressure controlled ventilation of the swimming pool, 2018-2019. Energy and Environmental Engineering. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Date Views. 16.03.2023 URL: [godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/Marianne\\_Ruud\\_Master\\_Thesis\\_2019.pdf](http://godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/Marianne_Ruud_Master_Thesis_2019.pdf) (accessed 15/03/23).
6. Improving ventilation efficiency for a highly energy efficient indoor swimming pool using CFD simulations. Date Views. 16.03.2023 URL: [researchgate.net/publication/328974752\\_Improving\\_Ventilation\\_Efficiency\\_for\\_a\\_Highly\\_Energy\\_Efficient\\_Indoor\\_Swimming\\_Pool\\_Using\\_CFD\\_Simulations](https://researchgate.net/publication/328974752_Improving_Ventilation_Efficiency_for_a_Highly_Energy_Efficient_Indoor_Swimming_Pool_Using_CFD_Simulations) (accessed 15/03/23).

7. Денисихина Д.М., Луканина М.А., Самолетов М.В. Математическое моделирование микроклимата в помещении бассейна // АВОК. 2012. №2. С. 56-60.
8. Dmitriev Alexander A., Ivanova Yulia V., and Tayrit Voldemar R. Analysis of Indoor Air Quality in the Swimming Pool in Ulan-Ude // Proceedings of ECSF 2021 Engineering, Construction, and Infrastructure Solutions for Innovative Medicine Facilities 99-109 // URL: doi.org/10.1007/978-3-030-99877-6\_12.
9. Иванова Ю.В., Куц Е.В., Кадокова С.Ю. Метод моделирования ветрового воздействия на здание общественного назначения // Инженерный вестник Дона, 2022. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8091.
10. Денисихина Д.М., Иванова Ю.В., Мокров В.В. Численное моделирование истечения из современных воздухораспределительных устройств // Инженерный вестник Дона, 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4972.

### References

1. Vishnevsky E.P., Tabunshchikov Yu.A., Tarabanov M.G., Salin M.Yu., Zhdanov I.A.R NP "AVOK" "Obespecheniye mikroklimate i energosberezheniye v krytykh plavatel'nykh basseynakh. Normy proyektirovaniya" ot 29 aprelya 2012 g. № 7.5-2012 NP "AVOK". 2012 g.
2. Smirnov V.V. Issledovaniye vliyaniya parametrov mikroklimate na dolgovechnost' nesushchikh konstruktsiy pomeshcheniya basseyna: avtoref. [Investigation of the influence of microclimate parameters on the durability of the load-bearing structures of the pool room] dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.03. Moskva, 2009. 17 p.
3. Lochner G, Wasner L. Trebovaniya k ventilyatsii krytykh basseynov AVOK. 2018. №4. pp. 20-27.



4. Il'ina T.N., Glebova O.V., Nebyl'tsova I.V. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. 2016. №8. pp. 113-116.
  5. Ruud, M. Pressure controlled ventilation of the swimming pool, 2018-2019. Date Views. 16.03.2023 URL: [godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/Marianne\\_Ruud\\_Master\\_Thesis\\_2019.pdf](http://godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/Marianne_Ruud_Master_Thesis_2019.pdf)
  6. Improving ventilation efficiency for a highly energy efficient indoor swimming pool using CFD simulations. Date Views 16.03.2023 [www.researchgate.net/publication/328974752\\_Improving\\_Ventilation\\_Efficiency\\_for\\_a\\_Highly\\_Energy\\_Efficient\\_Indoor\\_Swimming\\_Pool\\_Using\\_CFD\\_Simulations](http://www.researchgate.net/publication/328974752_Improving_Ventilation_Efficiency_for_a_Highly_Energy_Efficient_Indoor_Swimming_Pool_Using_CFD_Simulations)
  7. Denisikhina D.M., Lukanina M.A., Samoletov M.V. AVOK. 2012. №2. pp. 56-60.
  8. Alexander A. Dmitriev, Yulia V. Ivanova, and Voldemar R. Tayrit Proceedings of ECSF 2021 Engineering, Construction, and Infrastructure Solutions for Innovative Medicine Facilities 99-109 URL: [doi.org/10.1007/978-3-030-99877-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99877-6_12).
  9. Ivanova YU.V., Kuts E.V., Kadokova S.YU. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8091](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8091).
  10. Denisikhina D.M., Ivanova YU.V., Mokrov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4972](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4972).
-